

HORVÁTH GÉZA emlékezetét jobban meg kell becsülnünk, újra meg újra kell idéznünk és példaképül állítani szemünk elé, hogy jöjjön még a jövőben is sok olyan áldozatos élet, mint az övé volt és sugározza reánk a világ reflektorát újra úgy, ahogyan ő sugározta.  
*Dr. Szilády Zoltán.*

### A napsugár útja.\*

A Naptól kiinduló energiaáramlás Földünk melegháztartásának leghatékonyabb tényezője, légkörünkben minden meteorológiai történés végső oka, minden élőlény létének feltétele. Ez a kijelentés egy cseppet sem túlzás. A Nap sugárzása nélkül a Föld felszínének közepes hőmérséklete SCHEINER szerint kb.  $-73^{\circ}$  lenne, tehát bolygónk „Az ember tragédiája“ eszkimó-jelenetében rajzolt képnél is sokkal sivárabb, hideg, élettelen égítést volna. Szerencsére a Nap kiapadhatatlannak látszó, szakadatlan bőségben ontja energiáját a világűrbe: másodpercenként 90 kvadrillió kalóriát sugároz. Ebből az elképzelhetetlenül nagy energiamentiségből a Földre mindössze csak kétezerháromszázmilliomod rész jut.

A Nap összes sugárzó energiájának ez az elenyésző tört része még mindig hatalmas mennyiséget jelent: az egész földgömb másodpercenként nyert napsugárzási energiája a légkör külső határán mintegy 440 billió lóerő teljesítménynek felel meg. Egy része a légkörben különféle úton-módon veszendőbe megy, a többi eljut a Föld felszínére. Itt a Naptól özönlő sugárzó energia túlnyomó része a tengerek, a szárazföldek és a növénytakaró vizének elpárologtatására, egy másik része a talajfelszín — és ezen keresztül a legalsó légrétegek melegítésére használdik el. Ez a két hatalmas erőforrás tartja üzemben az időjárás állandóan mozgó gépezetét, mely azután a téritők közti vidékek bőséges energia-feleslegét részben elszállítja vízpárába rejtett energia-mennyiségek, meleg légáramlások és meleg tengeráramok útján az egyenlítőől messze északra és messze délre fekvő olyan vidékekre is, melyek a napsugarak ferde beesése miatt sugárzó energiában sokkal szegényebbek. A sugárzó energia tehát éghajlatalkító és módosító hatásokat vált ki, nemcsak közvetlenül a besugárzás helyén, hanem attól tetemes távolságokra eső vidékeken is.

A Föld felszínére jutó energia-áramlás harmadik, mennyiségileg már szerényebb hányada sokkal gazdaságosabban, hosszabb időre a szerves lények világában: a növényekben vegyi energiává alakulva akár évmilliókra is elraktározódhatik. A Nap sugárzó energiája teszi képessé a növényeket arra, hogy a klorofill a levegő széndioxidját redukálva az asszimilációnak nevezett vegyi folyamatokban a nagymolekulájú szerves vegyületek egész sorát állítsa elő. Ezek a szerves vegyületek közvetlenül a növényvilágból, vagy az állatvilág közvetítésével az embernek táplálékot, ruházatot adnak és az anyagnak, energiának a modern kultúrélethez nélkülözhetetlen számtalan válfaját szolgáltatják. Ha még megemlítjük, hogy a látáshoz szükséges fényt is a napsugárból kapjuk, túlzás nélkül állíthatjuk azt a (ma már közismertté váló) természettudományi igazságot,

\* Az 1940. évi Rauer-pályázaton jutalmazott pályamű.

hogy a Földön minden élőlény : növény, állat, ember végeredményben a napsugár energiájából él.

Földünk életében a sugárzó energia roppant nagy jelentőségét vázolva érthető, hogy a napsugárzás mennyiségi és minőségi kutatása a mai meteorológiának és klimatológiának egyik legfontosabb feladata. A napsugár útját akarjuk az alábbiakban követni születési, keletkezési helyétől kiindulva mindaddig, amíg a Föld felszínére jutva életfakasztó, életfenntartó áldásos hatásait kifejti.

I. A s u g á r z á s f o r r á s a. A Nap hőenergiája által fenntartott, asszimilációra képes növény élet lehetősége eléggé szűk hőmérsékleti határok, kb. a víz fagyáspontja és forráspontja között mozog. Amióta magasabbrendű élet van a Földön, a sugárzó energia nagysága jelentékenyen nem változhatott. Mert ha csak megkétszereződne, vagy felére csökkenne a Nap sugárzó tevékenysége, ez oly mélyreható változásokat idézne elő a Föld éghajlatában és az élőlk világában, hogy életgyilkos nyomai erősen szembetűnnének. Ma már azonban a legkülönbözőbb földtani jelekből, kőületekből biztosan következtethetjük, hogy ez az energia-áram százmillió évek óta lényegében állandó.

Mióta tart ez a sugározón ? Hol kell keresnünk a Nap roppant nagy energia-áramának fenntartó forrását ? Ezek a kérdések már régóta, különösen azonban az energia megmaradása elvének felfedezése óta foglalkoztatják az emberiséget. A Nap életkorának, a Naprendszer keletkezése és Földünk kérgének megszilárdulása óta eltelt időnek meghatározására különféle csillagászati, fizikai és földtani megfontolások állanak rendelkezésünkre. A Föld korának meghatározására irányuló első tudományos kísérlet 1715-ből, HALLEY csillagásztól ered. A folyók állandóan szállítanak kis mennyiségű oldott sót a tengerek vizébe. A víz elpárolog és újra kezdi körfutását — a só ottmarad. Ily módon a tengerek vizének sótartalma folyton növekszik. A jelenlegi sótartalomról — mondja HALLEY — következtethetünk arra az időre, amely alatt a só felhalmozódott. Ennél már valamivel pontosabb következtetéseket vonhatunk a különböző földtani üledékretegek vastagságából. Az ilyen módszerek elegendők ugyan annak kimutatására, hogy a Földnek legalább többszáz-millió évesnek kell lennie, pontosabb meghatározásra azonban nem alkalmasak, mert nincs meg a biztosíték arra, hogy ezek a folyamatok mindenkor egyenletes ütemben folytak le.

Szerencsére a radioaktív anyagok jól ismert elbomlási folyamata (pl. az uránium ólomra és  $\alpha$  részecskékké, azaz héliummá bomlik) szigorúan egyenletes ütemű és teljesen önkéntes : semmiféle földtani, fizikai hatás a legkisebb mértékben sem képes siettetni, vagy késleltetni. Amidőn a Föld először megszilárdult, kőzeteibe sokhelyen uránércek záródtak be. A radioaktív kőzetek elemzése pontosan megadja a 238 atomsúlyú uránium és a társaságában található, biztosan belőle keletkezett 206 atomsúlyú ólom és esetleg a hélium mennyiségét. A bomlási termékek mennyiségének a még fennmaradt uránium mennyiségéhez való aránya — a radioaktív bomlás fizikai törvényeit ismerve — megmondja, hogy a bomlás mióta folyik. A kőzet héliumtartalmán alapuló korbecslés mindig csak egy bizonyos alsó határértéket adhat, mert a gázalakú hélium a földtani korok folyamán esetleg elszabadulhatott a kőzetből. A legkülönbözőbb földtani rétegekben talált uránólom : uránium arányán alapuló korszámítások megegyeznek abban, hogy a prekambriumnak nevezett legősibb élőlénymaradványokat tar-

talmazó réteg több, mint ezermillió éves. Ezek alapján Földünk korát JEANS csillagász legalább 1400 millió évre becsüli.

Az urániumnak és egyik izotopjának, az aktinourániumnak radióaktív bomlási üteme különböző és ennél fogva egymáshoz való mennyiségi arányuk értéke az idővel változik. A Földön napjainkig fennmaradt uránium és aktinouránium viszonylagos gyakoriságából RUTHERFORD kiszámította, hogy a szilárd földkéreg kora nem haladhatja meg a 3400 millió évet. A Föld teljes kora, — beleértve a folyékony állapotban eltöltött időt is — ennél valamivel többre, kereken 10 milliárd évre becsülhető. A különböző bolygók és kísérőik pályalakjainak változásán alapuló csillagászati módszerek a Naprendszer keletkezése óta eltelt időre szintén mintegy 10 milliárd évet adnak eredményül. A Nap kora sem lehet ennél fiatalabb, tehát Naprendszerünk középponti égiteste már legalább tíz milliárd év óta mostani bőségében sugároz ki fényt, hőt, energiát.

Az állandó és folytonos napsugárzás hatalmas energia-veszteséget jelent a Nap számára. Energia nem keletkezhet a semmiből, tehát a kisugárzó energiának oly bőséges forrásból kell erednie, hogy ez képes legyen óriási energia-veszteséget igen hosszú időn keresztül pótolni, a hatalmas sugárzási áramot szakadatlanul fenntartani.

Földi mintára elképzelt vegyi folyamatok energiája túlságosan kevés volna az energiaáram fenntartására. Ha a Nap pl. teljes egészében kőszénből állana, az elégésekor felszabaduló hőenergia EMDEN szerint mindössze 5000 évre volna elegendő. A Napba hulló anyagi tömegek, meteorok mozgási energiájának hóvé alakulása sem jöhet tekintetbe a sugárzás forrásaként, amint azt a mult század közepén MAYER RÓBERT feltételezte. A sugárzás táplálására ugyanis ez esetben évszázadonként mintegy földtömegnyi meteornak kellene a Napba hullania. Ekkor azonban összehasonlíthatatlanul sokkal több meteort kellene megfigyelnünk a Föld légkörében is, — másrészt a Nap tömegének növekedése folytán a csillagászat törvényei értelmében az év hosszának rövidülését is kellene tapasztalnunk. Tehát MAYER feltevését, minthogy a megfigyelésekkel ellenkezik, el kell ejtenünk.

Ehhez sok tekintetben hasonló és hosszú ideig kielégítőnek tartott elméletet állított fel néhány évvel később HELMHOLTZ. Elmélete szerint a Nap állandóan zsugorodik, összehúzódik. E zsugorodás folytán a Nap anyaga közelebb kerül a középpontjához, azaz veszít helyzeti energiájából. A helyzeti energia csökkenésekor felszabaduló energia mozgás-, hő-, végül sugárzóenergiává alakul át. A számítások szerint a legkülső bolygópályáig terjedő térfogatról a mostanira való összehúzódás közben felszabaduló energia jelenlegi bőségű kiáramlásait feltéve, elegendő volna a Nap sugárzásvesztésének fedezésére kb. 20—50 millió évre. Ha azonban meggondoljuk, hogy a Nap fejlődésének korábbi szakában, miként a ma is megfigyelhető óriáscsillagok, másodpercenként akár ötvenszer-százszor akkora energiát is kisugározhatott, mint mostani állapotában, akkor az összehúzódásból eredő energia által biztosított élettartam 500 ezer évnél alig lenne több. Tehát kétségtelen, hogy ez az energiaforrás sem bizonyul elég kiadósnak, mert a fent említett élettani, földtani, fizikai és csillagászati érvek egyértelműen amellettszólnak, hogy a Nap életkora legalább tízmilliárd év.

A Nap valódi energiaforrását a csak néhány évtized óta felfedezett, atomon belüli (ú. n. „szubatomáris“) folyamatokban kell keresnünk, olyasfélékben, aminőket ma már atomátalakuláskor számos esetben tapasztalhatunk. Elméletileg háromféle, atomi energiákat felszabadító folyamat lehetséges: 1. magasabb rendszámú elemek szétesése egyszerűbb elemekké, 2. összetettebb elemek keletkezése egyszerűbb elemekből és végül 3. az anyag gyökeres megsemmisülése, proton és elektron egymás kölcsönös megsemmisítése.

Az első jelenséget meglehetősen ismerjük: radioaktív elemek önkéntes elbomlásakor, vagy mesterséges atomromboláskor sugárzás — energia — válik szabaddá az atomból. A napsugárzás energiájának forrását azonban a radioaktív elemek átalakulásában is hiába keressük. A rádium azért nem alkalmas erre a szerepre, mert nagyon rövid az élettartama, az uránium, thorium, vagy a radioaktív sorozat más tagja pedig azért nem, mert energiaszolgáltatásuk csekély és a sugárzásvesztéséget nem volnának képesek pótolni. Ha a radioaktív elemek nem is ilyen kizárólagos, de mégis jelentékeny szerepet játszanának az energia-termelés folyamatában, akkor valószínű, hogy színképi vonalaik mutatkoznának a Nap színképében. Ilyen vonalak jelenlétét azonban nem sikerült kétségbevonhatatlanul kimutatni, így tehát az energiát termelő folyamatban az anyagnak sokkal erőteljesebb mértékben kell sugárzássá alakulnia, mint bármely ismert földi folyamatban. Eddig tehát számbajöhető energiaforrás csak a másik két folyamat valamelyike lehet, azaz: összetettebb, bonyolultabb atommagoknak egyszerűbbekből, protonokból való felépítése (pl. hélium keletkezése hidrogénmagokból), vagy pedig az anyag gyökeres és teljes átalakulása sugárzássá.

Az anyagról alkotott mai felfogásunk szerint minden elem atommagja pozitív töltésű protonokból (hidrogénatommagokból) és negatív töltésű elektronokból áll. A mag fennmaradó pozitív töltését a mag körül keringő elektronok közömbösítik kifelé. Így pl. a hélium atommagja 4 protonból áll, ezeket a magban 2 elektron köti össze és 2 elektron kering a mag körül. Minthogy az elektron tömege a protonéhoz képest elhanyagolhatóan csekély, az elemek atomsúlyát a magban lévő protonok szabják meg. Azonban a hélium atomsúlya nem egyezik pontosan az atomot alkotó hidrogénatommagok súlyának összegével, hanem annál mindig valamivel kevesebb. Míg az át nem alakult hidrogén atomsúlya 1·008, a héliumé 4·000. Ezeket az igen pontos vegyi meghatározáson alapuló és az oxigén 16·000 atomsúlyára vonatkoztatott számokat ASTON tömegszínkép-elemző módszerei megerősítik. Tehát 1 gramm héliumnak atomonként négy-négy hidrogénatom egybeolvadása útján történő keletkezésekor — ha ilyen jelenség egyáltalán bekövetkezik — 0·032 grammnyi anyag többlet marad fenn. A relativitáselmélet egyik alaptörvénye szerint minden anyag energiával egyenértékű, mégpedig grammonként 900 trillió erg energiával. E szerint az eredetileg tisztán hidrogénből álló Napnak teljesen héliumból álló Nappá való átalakulása közben fennmaradó anyag, illetőleg felszabaduló energia a Nap jelenlegi bőségű (évekenként  $1,2 \cdot 10^{41}$  erg) kisugárzása esetén a számítások szerint 120 milliárd évre volna elegendő a kisugárzásból eredő energia-vesztés pótlására, miközben a Nap tömegének kerekén 1%-a alakul sugárzássá. Más, hasonló természetű szubatomáris folyamat ugyanekkora nagyságrendű élettartamot biztosítana. Ha pedig a Nap tömege teljes egészében sugárzássá alakulhat át, a relativitáselmélet

értelmében az anyag megsemmisülésekor rendelkezésre álló energia 15 billió évig volna képes fedezni a Nap kisugárzását.

Tehát mindkét energiaforrás (a második és a harmadik szubatomáris folyamat) bőségesen elegendő a sugárzó Nap folytonos energiavesztésének kellő hosszú időn át tartó fedezésére. A többi elgondolható energiaforrás egyike sem bizonyult eléggé kiadósnak. Éppen ezért a mai csillagászok az anyag részleges vagy teljes megsemmisülését (helyesebben: energiává való átalakulását) tekintik a sugárzó energia egyedül lehetséges forrásának. E szerint a Nap sugárzása következtében lassan, de folytonosan veszít tömegéből, lassan mintegy elemészti önmagát. Az elmúlt 10 milliárd év alatt tömegének csupán mintegy 1500-adrésze áramlott ki sugárzás alakjában, meglevő készlete még évbiliókra elegendő.

2. A napsugár útja légkörünk határáig. A néhány évtizeddel ezelőtt felállított relativitáselmélet törvénye: a tömeg és az energia egyenértékűségének elve kezdetben forradalmi újításként hatott. A modern atomfizikai kutatások azonban ma már több olyan atomrombolási jelenséget tártak fel, amikor az atommagban végbemenő átalakulások nagy energiaváltozásokkal járnak. E jelenségek relativitáselméleti magyarázata az, hogy atomátalakulások alkalmával a keletkező atommagok együttes tömege kisebb, mint az átalakulás előtti anyagrészek összes tömege. A tömegeltűnés mindig energia távozásával (sugárzással) jár együtt. Tehát a anyag és energia egy és ugyanazon valóságnak csupán különböző megnyilvánulási alakja, alapegységük, a gramm és az erg egymásra éppúgy átszámíthatók, mint pl. a méter és a yard. Az átszámítási arányt az  $E = m \cdot c^2$  alaptörvény adja meg, ahol  $c$  a fénysebesség. Már most, ha az anyag tényleg teljesen, vagy részben sugárzássá alakulhat át — mint ahogyan az előző fejezet végeredményeként a Nap sugárzó energiájának pótlására fel kellett tennünk — vizsgáljuk meg EDDINGTON nyomán, hogy milyen lesz az a sugárzás, amely pl. egyetlen proton (hidrogén-atommag) teljes megsemmisülésekor, elektronnal való összeütközésekor keletkezik.

Az Einstein-féle törvény értelmében a protonból sugárzássá váló energiaegység, energiakvantum a következő egyenlettel adható meg:

$$E = m_H \cdot c^2 = h \cdot \nu$$

ahol  $m_H$  a proton tömege  $1.662 \cdot 10^{-24}$  gr,  $c$  a fénysebesség  $3 \cdot 10^{10}$  cm sec<sup>-1</sup>,  $h$  a Planck-féle állandó  $6.65 \cdot 10^{-24}$  erg sec és  $\nu$  a frekvencia, azaz a sugárzás másodpercenkénti rezgéseinek száma s ez fordítva arányos a rezgés hullámhosszával  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ . A betűk számértékét az egyenletbe helyettesítve megkapjuk a proton megsemmisülésekor keletkező sugárzás másodpercenkénti rezgéseinek számát  $\nu = 2.3 \cdot 10^{23}$ , vagy a megfelelő hullámhosszúságot:  $\lambda = 1.3 \cdot 10^{-13}$  cm = 0.000013 Ångström-egység.

Valahol a Nap belsejében, ahol a proton és elektron egymást megsemmisítő összeütközésére a legkedvezőbb körülmények találhatók, bizonyára a Nap közepe táján születik, termelődik ez a rendkívül kemény, nagy áthatolóképeségű és roppant nagy rezgésszámú sugárzást jelentő energiaegység, ez a nagyenergiájú kvantum. Az anyag bilincseiből kiszabadult energiakvantum azonnal a fény.

sebességével indul hosszú vándorútjára. Még annyira friss és erőteljes, hogy a Nap közepén uralkodó óriási — több millió fokra tehető — hőmérsékletben, fizikai nyelven szólva: az irtózatossal rohanó protonok, gazdátlan elektronok, atomrongsók és hasonló eredetű részecskék egész nemzedéksorának kuszált zűrzavarában — ez a fénykvantum eleinte igen tekintélyes, a Nap sugarához mérten azonban mégis kicsi útdarabokat képes megtenni feltartóztatás és pihenés nélkül, míg aztán egyszer csak beleütközik valamely vigyázatlan elektronba. Az összeütközés a kvantum energiájának rovására megnöveli az elektron mozgási energiáját, a kvantumot pedig eltéríti eddigi haladásának irányából. Az energia megmaradásának elve értelmében kvantumunk energiája ugyanekkor csökken, tehát csökken a frekvencia is. (A fenti Einstein-féle egyenlet értelmében a sugárzás energiakvantuma:  $h\nu$  arányos a frekvenciával!) A kvantum változatlanul fénysebességgel száguld tovább, tehát a hullámhossz nagyobb, a sugárzás „vörösebb” lesz. Minden ilyen elektron-összeütközés eltérítéssel és energiacsökkentéssel jár, miközben a sugárzás hullámhossza minden alkalommal egy kissé a vörös felé tolódik. (Ezt a jelenséget hívjuk Compton-effektusnak.)

Napsugarunk kezdeti nagy energiája ily módon lassankint, vagy erélyesebb és nagy eltérítéssel járó összeütközések folytán hamarosan annyira felőrlődik, hogy rezgésszáma 3—4 nagyságrenddel csökken és belép a rádióaktív  $\gamma$  sugarak tartományába ( $\nu=10^{20}-10^{19}$ ). Legyengült kvantumunk itt még mindig oly erős, hogy atommag-elrendeződéseket robbanthat szét. Minden ilyen atomrobbantáskor, atommaggal való találkozáskor kvantumunk energiája csökken. Ha kvantumunk fokozatosan annyira legyengül, hogy többé nem képes atommagot szétrobbantani, energiája még mindig bőségesen elegendő arra, hogy lényegbevágó változásokat idézzon elő az atom szerkezetében. Ionizálhatja az atomot, azaz kiűzheti az atommag körül keringő elektronok közül egyet, vagy többet. Eleinte képes még a legnagyobb energiájú, legeslegbelső pályán keringő elektront is teljesen kiűzni az atomból (képes az atomot teljesen ionizálni). Ha már gyengébb, csak külsőbb pályán keringő, kisebb energiájú elektront dobhat ki helyéről. Ilyen esetekben kvantumunk egyéni élete tulajdonképpen megszűnik, mert energiája teljesen felőrlődik az ionizálás munkájában. Azonban úgy tekinthetjük, hogy csak szunnyad, mintegy megpihen, mert új életre kelhet, mihelyt az atom ismét elfog egyet a gazdátlanul száguldó elektronok közül. Az ionizált atom állapota nagyobb energiát jelent, mint az ionizálatlané. Ha elektron elfogása által az atom kisebb energiájú állapotban kerül vissza, az energia különbség sugárzás alakjában távozik, vagyis az atom kötelékébe belépő elektron mintegy újra vándorútra kényszeríti a szunnyadó kvantumot. Az újraéledő kvantum azonban esetleg már csökkent energiakészlettel folytatja útját, ha az elfogott elektron nagyobb energiájú pályára kerül, mint az előbb kiűzött elektroné volt. Ily módon változatos útján követett kvantumunk fokozatos gyengülés után eljut a Röntgen-sugarak, később a tulajdonképeni fénysugarak birodalmába ( $\nu=10^{14}-10^{13}$ ).

A sugárzás a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb felé áramlik, a Nap középpontjától kifelé irányul, azonban az anyag — a különféle erősségű kvantumok által többé-kevésbé ionizált és gerjesztett atomok halmaza —,

mint valami szita fogva tartja, úgyhogy a külső térbe csak lassankint képes mintegy átszivárogni. A Napból kifelé áramló sugárzás segít a gázyomásnak az anyagrészecskéket a nehézségi erővel szemben egyensúlyban tartani, tehát a napsugár tevékeny szerepe a Nap belsejében a *sugárnyomás*, miközben bele-beleütközik egy-egy atomba s azon vagy visszaverődik, vagy elúzi, illetőleg nagyobb energiájú pályára kényszeríti annak valamely elektronját. Az atom az elnyelt kvantumot az előbbtől eltérő irányban rövidesen ismét kilendíti és átadja egy másik atomnak, az elnyeli, majd ismét kibocsátja. Hosszú éveken, talán évszázadokon át tart ez a bolyongás, míg végre egyszer a Nap külső határ-retegeihez ér az alaposan elfáradt kvantum.

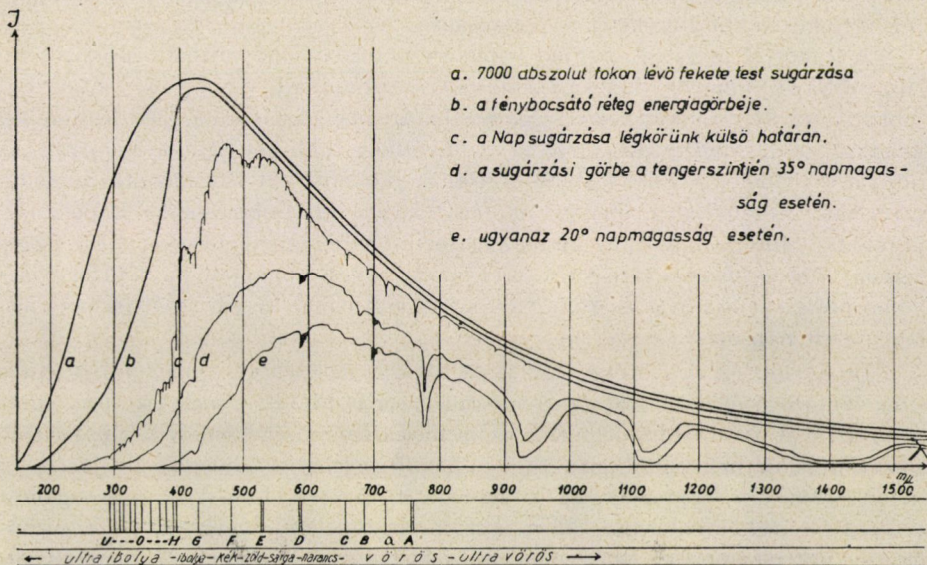
Innen már könnyebb az út kifelé. De nemcsak az eddig követett kvantumunk számára! Számptalan, különböző mértékben gyengült energiájú kvantum igyekszik mielőbb kiszabadulni. E kvantumok között mindenféle energia, mindenféle nagyságú rezgésszám képviselve van. Nagyon nagy és nagyon kicsi rezgésszámú kvantumok kevesebben, bizonyos rezgésszám-tartományba esők számosabban vannak, de mindenféle rezgésszám előfordul. Ezek együtt *folytonos színeképet* eredményeznek. A rezgésszámok előfordulásának gyakoriságai (a színeképerősség határai és csúcértéke) itt még valószínűleg elég pontosan követik az elméleti fekete testre felállított Planck-, Stefan—Boltzmann-és Wien-féle *sugárzási törvényeket*. Az első törvény megmondja, hogy megadott hőmérsékleten a feketén sugárzó test színeképében miképp oszlik el az energia: melyik rezgésszámhoz mekkora sugárzás-erősség tartozik. Az 1. ábra legfelső *a* vonala 7000 abszolút fok hőmérsékleten levő fekete test energia eloszlását ábrázolja a színeképben.

A Stefan—Boltzmann-féle törvény szerint a fekete test  $1\text{ cm}^2$ -nyi felületéről kisugárzott összes energia a  $-273\text{ C}^\circ$ -tól számított abszolút hőmérséklet negyedik hatványával arányos. A Wien-féle törvény pedig kimondja, hogy a fekete test abszolút hőmérsékletének és a színekép sugárzási csúcértékéhez tartozó hullámhossznak a szorzata állandó. A két utóbbi törvényből kiszámíthatjuk a Föld felszínére érkező sugárzás alapján a Nap felületének a hőmérsékletét. Az első szerint  $5767^\circ$ , az utóbbi szerint  $6780^\circ$ -nyi hőmérsékletet kapunk. A különböző módszerekkel kapott eredmények a megfigyelési hibáknál nagyobb mértékben térnek el, tehát a térben tovaterjedő valóságos napsugárzás már nem tekinthető szigorúan feketetest sugárzásának. Az 1. ábra *b* vonala ábrázolja a fénykibocsátó réteg valószínű-energia görbéjét. Ez már szemmel láthatóan eltér az abszolút feketetest sugárzási görbéjétől a rövidebb hullámok oldalán.

A Nap belsejéből szakadatlanul ömlő sugárzási áram a Nap utolsó pár ezer km-én való áthaladás közben *minőségileg* igen erősen megváltozik. A Nap légkörének különböző rétegei a kifelé törő sugáráramot többé már nem állíthatják meg, mennyiségileg nem változtathatják, mert energiafelhalmozó képességük jelentéktelen, hanem csupán módosíthatják a folytonos színeképet. Kövessük tovább a napsugár útját a Nap külsejének eléggé jól elkülöníthető és egymástól megkülönböztethető rétegeiben. A Nap izzó gömbjének belseje nem látható. A külső, közvetlenül látható határretege a fotoszféra, a fénykibocsátó réteg. E réteg felett helyezkedik el a már sokkal ritkább Naplégkör. A légkör legalsó, kb. 200 km vastagságú részét megfordító rétegnek nevezzük,

a légkör többi, mintegy 100 km vastagságra nyúló részét pedig kromoszférának. A légkört körülveszi a Nap sugarának többszöröséig is terjedhető vastagságban a napkorona.

A fotoszférát kell tekintenünk ama rétegnek, ahonnan a napsugár a külső térbe elindul. Sűrűsége nem fokozatosan, hanem mintegy ugrásszerűen megy át a következő rétegbe, — ez okozza a látszólagos Napkorong teljesen éles határoltságát. A fotoszférában végbemenő hatalmas áramlások, örvénylő mozgások tanú a fényes alapon sötétebbnek látszó napfoltok. Előfordulási gyakoriságuk



1. ábra.

a sugáráram erősségének, a napállandó ingadozásainak szakaszosságával párhuzamosan halad. [A Nap légkörének atomjai gerjesztésük és ionizálásuk közben a fotoszféra folytonos sugárzásából bizonyos hullámhosszúságú sugárzást elnyelnek. Az elnyelt kvantumokat rövidesen újra kibocsátják, de ennek az energiának már csak egy része irányul felénk, a többi eloszlik a tér minden irányába. Ez azután a látóvonal irányában a megfelelő hullámhosszúságú sugárzás gyengülését, a Nap színekében a sötét, ú. n. FRAUNHOFER-féle vonalak fellépését okozza. Az 1. ábra c vonala szemlélteti ezt a tekintélyes minőségi változást: a színek energia-görbéje többé már nem egyenletes, hanem többé-kevésbé mély lenyúlásokkal, (sötétedésekkel) tarkított. A görbe minden egyes lenyúlásának egy-egy FRAUNHOFER-féle vonal felel meg a Nap prizmaival előállított színekében. Több ezer ilyen vonalat ismerünk, a legerősebbeket az 1. ábra alsó részén a szokásos elnevezéssel és a szín megjelölésével rövid függőleges vonalak alakjában külön feltüntettük. A részletes színekvizsgálatok azt mutatják, hogy ezek a vonalak főként a megfordító-rétegben keletkeznek, a színek módosításában azonban a Nap légkörének magasabb részei, sőt még a napkoronában igen gyéren előforduló atomok is résztvesznek. A napkorona külső határától lég-



körünkig terjedő, kereken 150 millió km-es úton a napsugár már semmiféle ki-mutatható változást nem szenved.

3. A napsugár útja a Föld légkörében. Az előző fejezetben keletkezési helyétől a földi légkör határáig követtük a napsugár útját. Előzzük meg a másodpercenként 300.000 km sebességgel haladó napsugarat és helyezked-jünk el a csaknem 1000 km vastag légkör alsó határán, a Föld felületén.

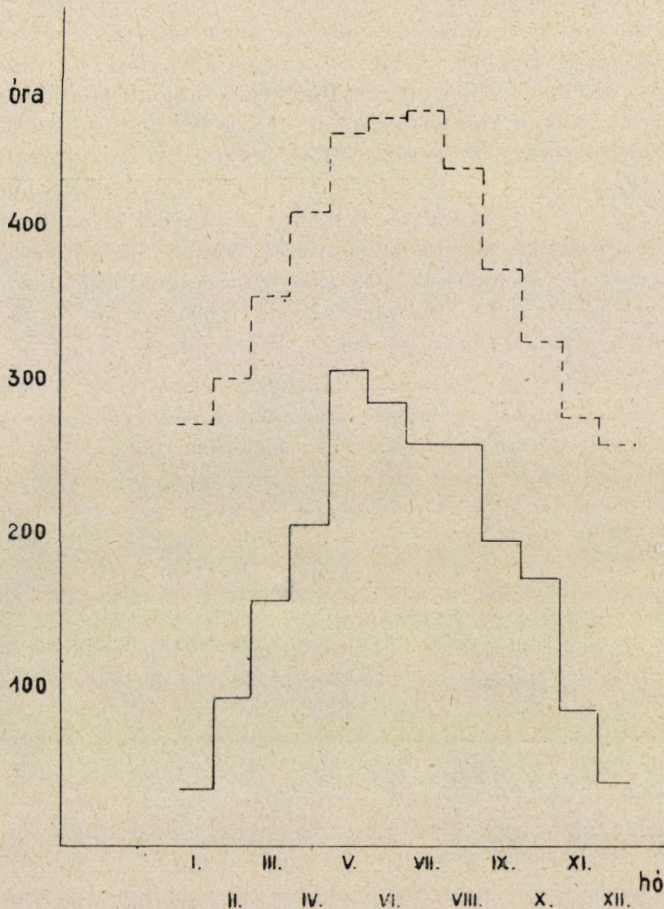
Ezt az utat a napsugár néhány ezred másodperc alatt teszi meg s ez a kis idő elegendő ahhoz, hogy jelentékeny változásokon menjen át. Légkörünk aljára érkező napsugárzás energia-görbéjét az 1. ábra  $d$  és  $e$  görbéje szemlélteti. Vizsgál-juk meg közelebből ezeket a változásokat.

A légkörtől megfosztott Föld felületére pontosan kiszámítható időközökben sütné a Nap s valamely időköz napsütéses óráinak számát, a n a p f é n y t a r t a -mot minden hely földrajzi szélessége meghatározná. Azonban a Föld légkörében keletkező köd, felhőzet, nagyarányú szennyeződés több-kevesebb időre árnyékba borítja a Földet. A Föld légköre ezáltal megrövidíti egy-egy időszak napfénytartamát. Nézzük meg, mennyi napfényt kapna pl. Debrecen, ha a Föld lég-körét eltávolíthatnánk. A 2. ábra szaggatott vonala ábrázolja ezeket a lehetséges legnagyobb napfénytartam-értékeket az év egyes hónapjaiban. A folytonos vonal pedig azt mutatja, hogy milyen kevés volt ehhez képest az 1934-ben való-ban észlelt napsütés.

De nemcsak a napsütés időtartamát rövidíti meg a légkör, megváltoztatja a sugárzás erősségét is. Ebben az irányban először POUILLET francia fizikus végzett vizsgálatokat 1838-ban. Megmérte azt a melegmennyiséget, melyet a napsugár-zás 1 cm<sup>2</sup> felületnek 1 perc alatt átad, ha merőlegesen éri a felületet. Megkísérelte, hogy méréseinek eredményéből kiszámítsa a n a p á l l a n d ó t : a sugárzás erősségét a légkör határán. Ehhez a számításához elegendőnek vélte a sugárzás erősségének megmérését két napmagasság mellett. A műszerek s a mérési mód-szerek tökéletlensége miatt POUILLET, majd honfitársa VIOLETTE csaknem 70 éven keresztül a kutatók egész sora a napállandó számára jelentékenyen külön-böző értékeket kapott. A nehézségek leküzdése után — ezekkel később részlete-sen foglalkozunk, — végül is ABBOT amerikai kutató határozta meg 1908-ban a napállandó értékét. Eszerint a légkör határán közepes földtávolban a napsugár-zás erőssége : 1.940 gcal/cm<sup>2</sup>. min.

Könnyű kiszámítani, hogy az  $1.27 \times 10^{18}$  cm<sup>2</sup> keresztmetszetű Földre percen-kint összesen  $2.36.10^{18}$  gcal hő érkezne napsugárzás alakjában, ha nem lenne a Földnek légköre. Arra gondolhatnánk, hogy ez a szünet nélkül érkező meleg-áram a földfelület hőmérsékletét hallatlanul magas értékre emelné. Tudjuk azonban, hogy minden test, amelynek hőmérséklete magasabb, mint az abszolút hőmérsékleti skála nulla pontja, hőt sugároz ki magából. A napsugárzástól fel-melegített földfelület is ilyen sugárzás kiinduló helye. Földünk hóháztartásában a napsugárzás felmelegedést, a kisugárzás lehülést okoz. A Föld hőmérséklete végeredményben olyan értéken állapodik meg, amelyen a kisugárzott hő éppen egyenlő a napsugárzás által közölt hővel. Ez a hőmérséklet a légkörtől megfoszt-tott Föld esetén  $+3^{\circ}$  lenne. Ez természetesen akkor igaz, ha a földfelület minden ráeső sugárzást elnyel. A sugárzás  $\frac{1}{3}$ -át azonban a földfelület visszaveri. Emiatt az egyensúlyi állapotot jelentő hőmérséklet alacsonyabb lenne : a számí-

tások szerint  $-23\text{ C}^\circ$ . A mérések szerint a földfelület közepes hőmérséklete  $+15\text{ C}^\circ$ . A levegőburok jelenléte tehát  $38^\circ$ -al emeli a földfelület hőmérsékletét, jöllehet a légkör felhői miatt a Földre érkező napsugárzásnak nem  $\frac{1}{3}$ -a, hanem fele verődik vissza.



2. ábra.

Már ez a két példa is mutatja, hogy a napsugárzás és légkör kölcsönös hatása érdeklődésünkre méltán tart számot, ha a Föld éghajlatának kialakulásával és változásával foglalkozunk.

A Földet körülvevő légnemű közeg távol van attól a fogalomtól, amit a vegytan levegőnek nevez. Az oxigén, a nitrogén és néhány nemes gáz keveréke a tiszta, szorosabb értelemben vett levegő. A valóságban több vendéganyag: vízgőz, széndioxid, ozon, hidrogén stb. tarkítják a légkört alkotó gázok sorát. Az alsóbb rétegekben pedig finom por, füst, vulkáni hamu, sókristály és ezer más fajtája az apró, lebegő részecskéknek járul hozzá ahhoz a keverékhez, amit végül is légkörnek nevezünk. Ezek a részecskék: az alapanyagok és a vendéggázok

molekulái, a lebegő szennymagocskák különböző nagyságúak s a napsugárzásra gyakorolt hatásuk sem lesz egyforma. Elegendő, ha három csoportra osztva vizsgáljuk meg a részecskék viselkedését. Ez a három csoport: a tiszta, száraz levegő molekulái, a légkörben lévő vízgőz és a szennymagocskák.

A száraz levegő molekulái a légkör legkisebb részecskéi. Kiseb-  
bek, mint a látható fény hullámhossza. Az ilyen méretű részecskék fény-  
szórást okoznak. Ilyenkor a részecske maga is fényforrássá válik: minden  
irányban fényt sugároz. Ebben a szórt fényben a különböző hullámhosszúságú  
sugarak nem ugyanolyan arányban vannak képviselve, mint az eredeti fényben.  
A molekuláris részecskék szóró hatásáról RAYLEIGH angol fizikus elméletét fogad-  
juk el ma is. Eszerint, ha az eredeti fényben jelenlévő különböző hullámhosszú-  
ságú sugarak egyenlő erősségűek, a szórt fény sugarainak erőssége fordítva ará-  
nyos hullámhosszúságuk negyedik hatványával. Amikor a felhőtlen égre nézünk,  
minden irányból a levegőmolekuláknak egy-egy sora küldi felénk a szórt fényt.  
Ebben a fényben a rövidebb hullámhosszúságú, tehát kék, ibolya és ibolyántúli  
sugarak túlsúlyban vannak. Az eget tehát kéknek látjuk.

A molekuláris szórás a közvetlen napsugárzás egy részét felemészti. Ez a  
rész arányos a fénysugár útjába eső levegőmolekulák számával, egyenletesen  
rétegződött és változatlan légkör esetén a légkörben megtett úttal. A légkör  
állapotára jellemző szám, amely ennek az arányosságnak kézzelfogható jelleget  
ad, a levegő áteresztőképessége (transzmisszió-koefficiens). Erről a  
számról elegendő annyit megjegyezni, hogy értéke annál kisebb, minél nagyobb  
részét veszíti el a sugárzás eredeti értékének a légkörön való áthaladás közben.

Az előzőek alapján beláthatjuk, hogy különböző színű sugarak esetén az át-  
eresztőképesség más és más lesz. A kék fényt erősebben szórja a levegő, mint a  
vöröset, tehát a kék fényhez kisebb áteresztő képesség tartozik, mint a vöröshöz.  
Ez a felismerés óvatosságra int bennünket, ha az összetett napfényre vonatkozó  
áteresztőképességgel jellemezni akarjuk a levegő szóróhatását. Meg tudjuk ugyan  
mérni a napsugárzás erősségét s a napállandó ismeretében kiszámíthatjuk az át-  
eresztőképességet is, de a számítás minden napmagasságnál más és más értéket  
ad. Nem is lehet másképen. Alacsony napmagasság esetén a fény nagyon hosszú  
utat tesz meg a légkörben. A rövidebb hullámhosszúságú sugarak erősen szóród-  
nak s a tovahaladó sugárzásban mindinkább a hosszabb hullámú sugarak jutnak  
szóhoz. Az egyre vörösödő sugárzás másképen gyengül az út végső szakaszain,  
mint nagyobb napmagasságok mellett a rövidebb úton.

Említettük, hogy a napállandót két sugárzásmérés eredményéből kiszámít-  
hatjuk, ha ezeket különböző napmagasságok mellett végezzük el. A számítás  
előfeltétele az, hogy közben a levegő áteresztőképessége ne változzék. Láttuk,  
hogy ez a feltétel nem teljesül. A napállandó mérése emiatt sokáig bizonytalan  
volt. A nehézségeket végül is LANGLEY amerikai kutató és tanítványai ÁBBOT,  
FOWLE és ALDRICH oldották meg az amerikai pártfogók milliós ösztöndíjainak  
birtokában. Rendkívül pontos mérések segítségével meghatározták 40-nél több  
hullámhosszúságon a sugárzás erősségét. A mérést bolométer (a színekpen végig-  
tolható elektromos hőmérő) segítségével 10 perc alatt végre tudták hajtani. Ha-  
czt a mérést különböző napmagasságok mellett elvégezték, meghatározhatták a

légkörön túli sugárzás erősségének színképi elosztását s ezzel együtt az áteresztő képességet minden egyes hullámhosszúságra. (1. ábra, c görbe).

ABBOT és FOWLE végezték ezeket a méréseket a kaliforniai Mount Wilson 1730 méteres magasságában és a 4420 m magas Mount Whitney-en. A mérések RAYLEIGH elméletét elsőízben igazolták gyakorlatilag.

Ne feledjük el, hogy mindezek a fejtegetések arra a feltevésre épültek, hogy a levegő tiszta és száraz, a fény gyengítését a levegőmolekulák okozzák. Ebben az esetben a RAYLEIGH-féle elmélet, vagy ABBOT és FOWLE gyakorlati eredményei meghatározzák a sugárzásvesztéséget a légkörben.

A levegőben lévő vízgőz azonban nem elhanyagolható vendég- anyaga a légkörnek. Molekuláinak sajátos elhelyezkedése következtében egészen másképpen bocsátja át a sugárzást, mint a levegő alapgázai. A légkör alsó rétegében lebegő nedvszívó kondenzációs magvak, az ultramikroszkópikus nagyságú sókristályok, füst, por, koromrészecskék magukhoz ragadják a vízgőzmolekulákat. Az így létrejövő lebegő részek még mindig ultramikroszkópikus nagyságúak, de méreteik már nem elhanyagolható kicsinyek a fény hullámhosszához képest. RAYLEIGH törvénye ezekre a részecskékre már nem érvényes. A vizsgálatok azt mutatták, hogy azok a részecskék, amelyeknek átmérője  $0.18 \mu$ -nál nagyobb, a fényt nem a hullámhossz negyedik, hanem csak második hatványával fordított arányban szórják. Az előbbi jelenséget — ezt írja le RAYLEIGH törvénye — molekuláris szóródásnak, az utóbbit szórt visszaverődésnek (diffúz reflexio) nevezzük. Ha a részecske átmérője  $100 \mu$ -nál nagyobb, már felismerhető a közönséges értelemben vett visszaverődés.

Vízgőzzel kevert légkörünkben a levegő molekulái és a vízgőz részecskéi egymástól függetlenül mindkét fajta fényszórást létrehozzák. A levegőmolekulák kékebb, a vízgőzrészecskék kevésbé kék égyszínt igyekeznek előállítani. Az eredmény az ég szürkés-kék színe. Ez annál inkább megközelíti a RAYLEIGH-elméletnek megfelelő tiszta sötétkék színt, minél tisztább és szárazabb a levegő.

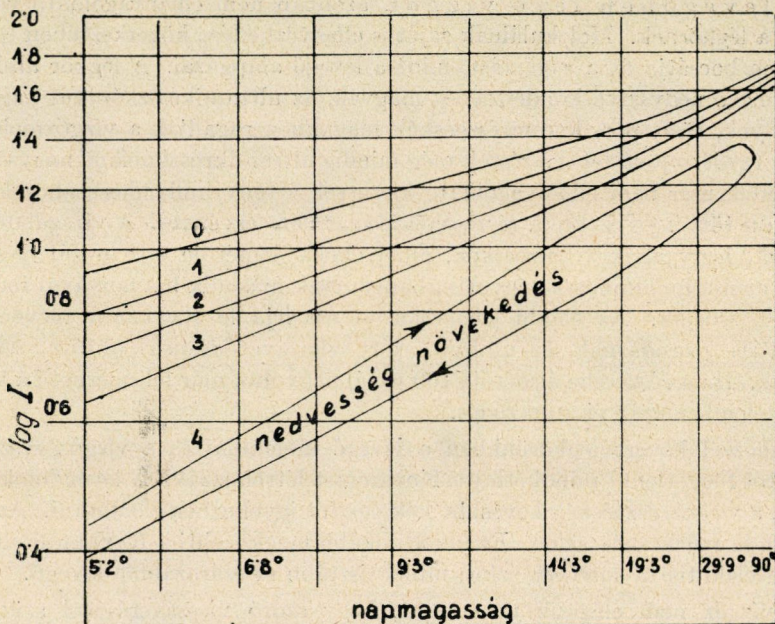
A vízgőz nem elégszik meg azzal, hogy szóró visszaverésével szürkébbé teszi egünket. Ezenfelül a sugárzás egy részét magának követeli és valóságos sávokat nyel el a Nap színképéből, különösen a vörösöntúli tartományban. A levegő alapgázai is elnyelnek meghatározott vonalakat és sávokat a színképből, de az így elnyelt energia alig 3%-a a szórt fénynek. A vízgőz ezzel szemben jelentékenyen többet nyel el, mint amennyit szétszór.

A vízgőz a légkör alsó rétegeiben helyezkedik el: az alsó 2—3 km vastag levegőréteg a légkör vízgőztartalmának túlnyomó részét magában foglalja. Kis napmagasság esetén emiatt nagyobb utat tesz meg a fénysugár a vízgőzzel kevert levegőben, mint magasabb napállás esetén. Ennélfogva a Nap színképében a vízgőz elnyelési sávjai csökkenő napmagasságnál egyre mélyülnek. (1. ábra, d és e görbe.)

FOWLE valóban nagyméretű laboratóriumi vizsgálatai során vízgőzzel megtöltött cső segítségével tanulmányozta a vízgőz elnyelő hatását. A cső hosszát 128 és 246 m között változtatta. Mérési eredményeinek birtokában határozott összefüggést talált az elnyelési sávok mélyülése és a légkör vízgőztartalma között. Ilyen módon meghatározhatta színképi mérésrel a légkör vízgőztartalmát.

FOWLE-nak azonban nem ez volt a célja. Hiszen a vízgőztartalom közelítő értékét HANN után egyszerűen kiszámíthatjuk a talajon mért párányomásból. FOWLE végeredményben azt vizsgálta, hogyan változik meg a levegő áteresztőképessége vízgőzzel való keveredése után. Ezt a jól bevált és kényelmesen használható fogalmat általánosította vízgőzzel különböző mértékben kevert levegőre.

Természetesen ez az áteresztőképesség is függ a fény hullámhosszától és különböző napmagasságok mellett nem marad változatlan. FOWLE nedves levegő esetén is meghatározta az áteresztőképességnek ezen változásait. Adatai alapján



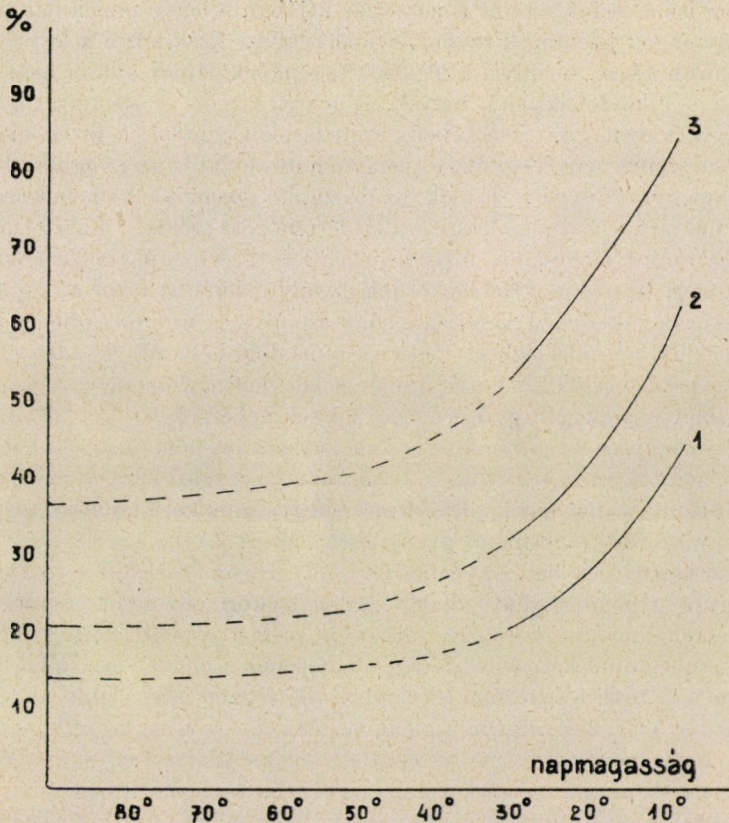
3. ábra.

fel tudjuk rajzolni a sugárzás erősségének a napmagassággal való változásait száraz levegőben s különböző vízgőztartalom mellett. FOWLE görbéit a 3. ábrán láthatjuk. A 0 görbe száraz levegőre, az 1, 2, 3, görbék olyan nedves levegőre vonatkoznak, melyből, — ha a vízgőz eső alakjában mind kiesne, — 1, 2, ill. 3 mm csapadékot nyernénk. A levegő nedvessége napközben változhat s a valóságos napi erősségváltozás vagy az egyik, vagy a másik görbével fut párhuzamosan. A görbe délutáni visszahajlása csak változatlan levegő esetén fekszik a délelőtti vonalon. Ha a levegő nedvessége növekedett, a délelőtti (4) görbe alatt, ha csökkent, akkor pedig föltte érkezik vissza a kiinduló vonalhoz.

Kellőképen értékelhetjük ennek alapján az áteresztőképesség fogalmát. Módot nyújt arra, hogy a talajon végzett mérésekkel a légkörben végbemenő változásokat vizsgálhassuk. Maga a napsugár válik ily módon kutató eszközünké és valamely műszer hosszú mutatójához hasonlóan nyúlik le hozzánk a légkörön keresztül.

A 3. ábra 4. görbéje meredekebb az elméleti görbék bármelyikénél és teljes egészében a görberendszer alá esik. Ebből arra következtethetünk, hogy nem csupán a levegőmolekulák és a vízgőz vesznek részt a légkör fénygyengítő hatásában.

A szennymagok a légkör legalsó 1–2 km vastagságú rétegében a napsugár útjának utolsó, de egyúttal legnagyobb akadályát jelentik. A 4. ábra



4. ábra.

feltünteti a napsugár légköri veszteségét a napállandó százalékaiban különböző napmagasság mellett. Az 1. görbe a veszteség változása a 4400 m magas Mount Whitney tetején, a 2. görbe az 1800 m magas Mount Wilsonon, a 3. görbe pedig Washingtonban kb. a tenger szintjén. Láthatjuk, hogy 90°-os napmagasság esetén a légkör határához érkező sugárzásnak csak 78%-a jut el 1800 m magasságig, a tengerszint pedig csak 62%-át élvezi az eredeti napfénynek. A sugárzásnak a legutolsó rétegekben bekövetkezett erős gyengülését a szennymagok rovására írhatjuk.

A szennymagok a talajról a légkörbe került apró, lebegő részecskék. Füstöt, port, sókristályt és kormot találunk a szennyrétegben. Ezeknek a részecskéknek

az átmérője javarészt meghaladja az ezred mm-t. Az ilyen nagy részecskék a fényt már nem szórják. Hatásuk főként visszaverésben, kisebb mértékben a fény elnyelésében nyilvánul meg. Az itt végbemenő jelenségek pontos ismeretéhez még sok megfigyelésre van szükség. Mindenesetre a sugárzás gyengítése a szennyrétegben is a fény hullámhosszával fordítottan arányos. A vörös fény tehát kevesebb veszteséggel hatol át a szennyrétegen, mint a színeknek rövidebb hullámhosszúságú sugarai.

Eddigi ismereteink szerint a napsugár útjában a levegőmolekulák, a vízgőz és a szennymagok jelentenek számottevő akadályt. Ezek közül a levegőmolekulák gyengítő hatását, — mivel a légkör levegőmolekuláinak száma nem változik lényegesen — állandónak tekinthetjük. A levegő vízgőz- és szennytartalma ezzel szemben gyors és nagyon jelentékeny változásokat mutat. A levegőmolekulák, a vízgőz és a szennymagok együttes gyengítő hatása szabja meg végül is a hozzánk érkező napfény erősségét. Ennek az összetett gyengítő hatásnak egységül LINKE ajánlatára a levegőmolekulák által létrehozott szórást választották. Ez a szóróhatás, amint említettük, állandó jellegű és RAYLEIGH elméleti vizsgálatai után pontosan ismeretes. Ha légkörünk gyengítő hatását ezzel az egységgel ki akarjuk fejezni, akkor azt keressük, hány szenny- és nedvességmentes, csupán levegőmolekulákból álló légkört kellene egymásfőlé helyezni, hogy ugyanazt a gyengítő hatást érjük el, mint aminőt a jelenlegi légkör okoz. Az így nyert mértékszámot *gyengítési tényező* nek nevezzük.

A mértékegység ilyen módon való megválasztása gondolkodóba ejtethet bennünket. Amint már mondtunk, a szennyréteg gyengítő hatását nem ismerjük teljesen. Jogunk van-e ennek ellenére mértékegységünkkel a szennyréteg ismeretlen törvény szerint végbemenő gyengítését mérni?

Erre a kérdésre a mérések adtak feleletet. Hosszú észlelési sorozatokból kintűnt, hogy a gyengítési tényező változatlan légköri viszonyok esetén bármely napmagasságnál ugyanakkora. Ez várható is, mert a gyengítési tényező tulajdonképpen nem más, mint két atmoszféra gyengítésének a hányadosa. Ez a tulajdonság alkalmassá teszi a levegőmolekulákból álló légkört arra, hogy az egyesített fénygyengítés mértékegységül szolgáljon. Ha pl. a reggeli órákban kétszerakkora a napsugárzás gyengítése, mint a molekuláris szórás, a mértékszám 2 marad délben és az esti mérések alkalmával is, ha közben a levegő tulajdonságai nem változtak meg. A gyengítési tényező jól használható fogalomnak bizonyult. Bőven átesett kisebb változtatásokon, kibővítéseken, de lényege LINKE eredeti meghatározása maradt.

Maga LINKE a Föld különböző vidékein mérte és számította a gyengítési tényezőt. Méréseiből tudjuk, hogy az európai szárazföldön a gyengítési tényező értéke 2 és 2.5 között ingadozik. Ez azt jelenti, hogy kettőnél több tiszta levegőmolekulákból álló légkör okozna akkora veszteséget a napsugárzásban, mint amekkorát Európa átlagos légköre okoz.

Természetesen találunk olyan helyeket is, ahol szélsőségesen tiszta a légkör, de akadnak rendkívül szennyezett levegőjű vidékek is. A majna-frankfurti gyárak füstje a gyengítési tényező átlagos értékét 3.5-re emeli. Egyes ipartelepek rövid időre környezetükben 30-ra is fokozhatják a gyengítési tényező értékét. Az 1860 m magasan fekvő Arosa ehhez képest kristálytiszta levegőt élvez: gyengítési

tényezőjének átlagos értéke 1.57. A passzát-szelek övezetében általában 2.0 és 2.5 között ingadozik a gyengítési tényező, az egyenlítő táján eléri a 3.0-t, a Zöldfoki szigeteken a Szahara pora 5.0-ig emelheti értékét, ezzel szemben az Andok levegője 1.2 átlagos gyengítési tényezőjével már alig különbözik a teljesen tiszta levegőtől.

Erősebben szennyezett levegőben a gyengítési tényező határozott napi változást mutat. Legnagyobb értékét a kora délutáni órákban veszi fel. Ennek magyarázatát a függőleges légáramlásokban kereshetjük. A napsütéstől felmelegedett talajmenti levegő emelkedni kezd, közben szennymagtartalmát magával viszi. Az emelkedő levegő lehül s viszonylagos nedvessége egyre nagyobb lesz. A nedvszívó szennymagocskák ennek következtében megduzzadnak s a gyengítési tényező értékét jelentékenyen nagyobbítják.

LORENZ L. Darmstadtban megmérte különböző légtömegek gyengítési tényezőjét. A légtömegek legtöbb esetben oly gyorsan változtatnak helyet, hogy előző hosszabb tartózkodási helyükön szerzett tulajdonságaikat változatlanul megtartják. A légkörten származási helyük szerint tesz különbséget az egyes légtömegek között. LORENZ mérései szerint legkisebb gyengítési tényezője volt a friss, sarkvidéki eredetű levegőnek. Ennél szennyezettebb volt az európai szárazföldről eredő levegő. Ez utóbbi a szélirányok szerint nagy ingadozásokat mutatott. Ennél is nagyobb volt a tengeri eredetű levegő gyengítési tényezője s legtöbb veszteséggel érkezett a napsugár a trópusi eredetű levegőn keresztül. Ezek a mérések szépen egyeznek a különböző eredetű levegőkben észlelt látási viszonyokkal. Ebből a néhány példából is láthatjuk a gyengítési tényező fogalmának használhatóságát.

Végig követtük a napsugár útját a légkörön keresztül, vizsgáljuk meg még a sugárzásnak azt a részét, amely a légkör apró részecskéin szétszóródik.

4. A z é g s u g á r z á s. Tudjuk, hogy a napsugár útjába kerülő részecske új sugárzás kiinduló pontjává válik. Ennek a sugárzásnak egy része szórt és visszavert fény alakjában érkezik hozzánk. RAYLEIGH elmélete számot ad az égsugárzás erősségéről. Eszerint valamely irányból hozzánk érkező égsugárzásnak erőssége annak a szögnek koszinuszával arányos, amelyet ez az irány a hozzánk érkező közvetlen napsugárral bezár. Ennek következtében két irányból: a Nap irányából és ezzel ellentétes irányból — ellennap — érkezik hozzánk a legerősebb égsugárzás. Legkevesebb sugárzást kapunk az égbolt azon pontjai felől, amelyek a Naptól  $90^\circ$  távolságra vannak. Ezek a pontok körön fekszenek. Ezek lesznek az égbolt legsötétebbnek látszó pontjai. A kör legmagasabb pontja — egyúttal pontja a Napon átmenő főkörnek is — olyan irányt jelöl ki, amelyben kevesebb levegőmolekula van, mint a kör bármely más pontjának irányában. Ez a pont ennek következtében az égbolt legsötétebb pontja.

A vízgőz és a szenny jelenléte módosítja RAYLEIGH elméletét. Ha a Nap a zenitben áll, az említett sötét kör nem  $90^\circ$ -ra, hanem csak  $60^\circ$ -ra van a Naptól. Ettől a körtől a látóhatár felé haladva az alsó réteg szennymagocskái ismét erősebb égsugárzást okoznak. Ha a Nap nem éppen a zenitben áll, akkor a legsötétebb kör a napmagasságtól függően  $70-90^\circ$  távolságra van a Naptól.

Az égsugárzás alapos vizsgálata azt mutatta, hogy a sugárzás szórt fény p o l á r o s f é n y. Az elektromágneses fényelmélet felteszi, hogy a fénysugár a



tovaterjedési irányára merőleges síkban vektormennyiségnek tekintendő s ez a fényvektor periodikusan változik. Periodikus mozgást végez a fényvektor, ha pl. úgy forog a fénysugár iránya körül az említett síkban, hogy végpontja ellipszist, vagy kört ír le. Az előbbi esetben elliptikusan, az utóbbiban körösen poláros fényről beszélünk. Ha az ellipszis vég nélkül laposodik, egyenessé fajul és így jutunk az egyenesben polározott fényhez.

A Naptól közvetlenül eredő *t e r m é s z e t e s f é n y*. Ez rendkívül kicsiny időtartamokban elliptikusan, körösen és egyenesben poláros is lehet. Ez a háromféle állapot azonban oly szaporán váltakozik a természetes fényben, hogy egy ezredmilliomod másodpercenél hosszabb ideig nem marad ugyanabban az állapotban. Ha elegendő hosszú időtartamot választunk, a természetes fény a tova terjedés irányára körül teljes szimmetriát mutat.

Szórás és visszaverődés a természetes fényt polározott fényvé alakíthatja át. Alkalmas műszerekkel végzett mérések azt mutatták, hogy az égsugárzás szórt fénye polározott fény. RAYLEIGH elmélete szerint a levegőmolekulákból álló légkörben a Naptól  $90^\circ$  távolságban fekvő pontok irányából egyenesben polározott fény jön felénk, minden más irányból elliptikusan polározott fényt kapunk, a Nap irányából pedig természetes fény érkezik hozzánk.

A vizsgálattal és szennymagokkal kevert légkörben kissé megváltoznak a viszonyok. Elliptikusan polározott fény jut hozzánk a Naptól  $90^\circ$ -ra lévő pontok irányából is. A természetes fény sem pontosan a Nap irányából érkezik hozzánk az égsugárzásban, hanem a számítások szerint négy más pontból. Mind a négy *s e m l e g e s p o n t* a Nap főkörén fekszik, a Naptól és az ellennaptól  $15-18^\circ$  távolságban. Ezeket a pontokat felfedezőikről nevezték el. A Nap fölött van a BABINET-pont, alatta a BREWSTER-pont. Az ellennap fölött található az ARAGO-pont. A negyedik pontot, az ellennap alatt, még nem sikerült műszerekkel kimutatni.

5. A földi napszínkép eleje és vége. A Föld felületén mért napszínkép  $290 \mu$  hullámhosszúságnál kezdődik és erőssége a nagyobb hullámhosszúságok felé hirtelen emelkedéssel nő. (1. ábra *d* görbe.) Fényképezőlemezek nagyon hosszú besugárzási idő után nyomát sem mutatták ennél rövidebb hullámhosszúságú sugárzásnak. Ebben a tartományban rendkívül érzékeny fényelektromos cellákkal sem sikerült ennél rövidebb hullámhosszúságú napsugarakat találni. Pedig DEMBER a 3280 m magas Teneriffán is végzett ilyen irányú méréseket. Megvizsgálták, hogy a nagyobb magasságokban nem szélesedik-e ki a színkép. WIGAND 9000 méterig végzett léggömbökkel méréseket, de ő sem talált  $290 \mu$ -nál rövidebb hullámhosszúságú sugárzást.

Arra gondolhatnánk, hogy a Nap ennél rövidebb hullámokon talán nem is sugároz, vagy pedig olyan gyenge már itt a sugárzás erőssége, hogy az észlelés alsó határát nem éri el. A STEFAN-BOLTZMANN törvény szerint azonban a Napnak ezen a hullámhosszúságon még tetemes erősséggel kell sugároznia, amint erre az 1. ábra legfelső két görbéjéből is következtethetünk. Ha pl.  $300 \mu$ -nál 100 egység lenne a sugárzás erőssége, akkor  $200 \mu$ -nál még mindig mintegy 13 egységet kellene mérnünk.

Felmerült az a vélemény is, hogy a Nap légköre nyeli el a  $290 \mu$ -nél rövidebb hullámhosszúságú sugarakat. Ennek ellentmond FABRY és BUISSON mérése.

A két kutató azt találta, hogy 290 és 310  $m\mu$  között a Nap széléről eredő sugárzás függetlenül a hullámhosszúságtól kétszer gyengébb, mint amennyit a Nap középpontjának irányából kapunk. Ha a Nap okozná a színeképes szélét, a középső és szélső pontokból eredő sugárzás különbségének csökkennie kellene a hullámhosszúság növekedésével.

HUGGINS már 1890-ben kimutatta, hogy a Végárról sem érkeznek hozzánk 290  $m\mu$ -nál rövidebb hullámhosszúságú fénysugarak, pedig ez a csillag a Napnál sokkal magasabb hőmérsékletű, tehát rövidebb hullámhosszúságú sugarakban is gazdagabb.

Ezek az eredmények nyilvánvalóvá teszik, hogy a jelenség okát a Föld légkörében kell keresnünk. WIGAND mérései ehhez még hozzáteszik, hogy ez az ok nem lehet 9000 m alatti rétegben. HARTLEY már 1880-ban az ozontette felelőssé a színeképes ibolyántúli részének elnyeléséért. Valóban az ozon a 210 és 290  $m\mu$  közti tartományban rendkívül nagymértékben nyeli el a ráeső sugárzást. FABRY és BUISSON kimutatták, hogy HARTLEY elképzelése számszerűleg is megmagyarázza a színeképes hirtelen lemetesződését.

Arra a kérdésre, hogy az ozon milyen magasságokban helyezkedik el, REGENER mérései adtak feleletet. Léggömbökkel felbocsátott öniró műszerei 30 km magasságig készítettek színeképesfelvételeket. Ezek a mérések valószínűvé tették, hogy a légkör ozontartalmának 70%-a 30 km alatt van.

Maga REGENER mutatott rá arra, hogy az ibolyántúli napfény a légkörben ozont termel. Ha 200  $m\mu$ -nál rövidebb hullámhosszúságú sugárzás oxigénmolekulát talál, a molekula két atomja elválik egymástól. Az egyedülmaradt oxigénatomok csatlakozhatnak oxigénmolekulákhoz és létrejöhet a három oxigénatomból álló ozonmolekula. A napsugárzás végnélkül gyártaná az ozont, ha az ozon által elnyelt 210 és 290  $m\mu$  közti hullámsáv energiája vissza nem alakítaná az ozont oxigénné. Ily módon maga az ozon gondoskodik szaporodásának határaitól.

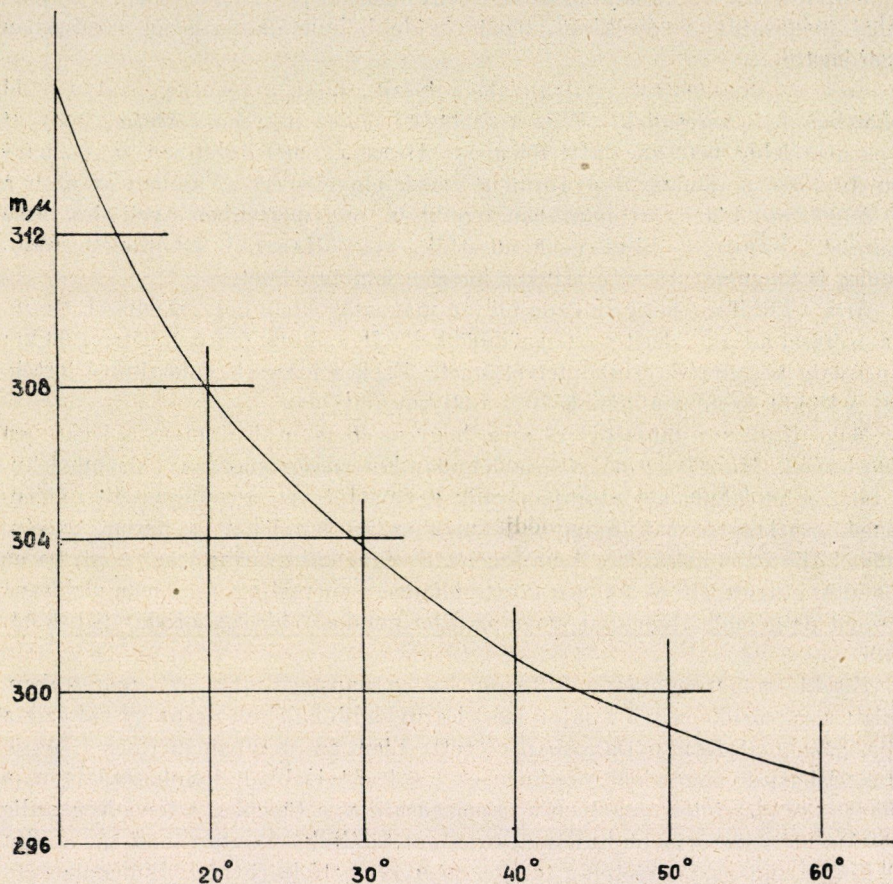
Kisebbségi magasság esetén hosszabb lesz a napsugár útja az ozonrétegben. Emiatt a napszíneképesnek a talajon mért legrövidebb hullámhosszúsága változik a napmagassággal. DORNO Davosban végeztet ebben az irányban méréseket. Az 5. ábrán láthatjuk méréseinek eredményét: a legrövidebb hullámhosszúság napi menetét. A vízszintes tengelyen a napmagasságot, a függőleges tengelyen pedig a talajon mért legrövidebb hullámhosszúságot találjuk. Az ábra tanúsága szerint csökkenő napmagasság esetén a talajon megfigyelhető legrövidebb hullámhosszúság a nagyobb értékek felé tolódik el.

A színeképes a hosszú hullámok oldalán már nem végződik ilyen határozott értéknél. Még mérhető erőssége van a sugárzásnak 5  $\mu$  hullámhosszúságnál, de mértek már 15–18  $\mu$  hullámhosszúságú sugárzást is. Ebben a tartományban a vízgőz elnyelési sávjai jelentik a napsugár útjának legjelentékenyebb akadályait. A nagy változásokat mutató vízgőztartalom okozza azután azt az ingadozást, amit a színeképes a hosszú hullámok oldalán mutat.

Nagyobb hullámhosszúságú napsugárzást, mint 20  $\mu$  még nem észleltek a Földön. Itt azonban nem kell gondolnunk valamely légköri alkotórész erős beavatkozására. A színeképes hosszú hullámú vége felé az energia lassan, fokozatosan, süpped a mérhetőség határa alá. Folytonosságát csak a vízgőz elnyelési sávjai,

tarkítják. Azt a kevés energiát, ami még  $20 \mu$ -nál hosszabb hullámokban érkezik a légkör határára, a széndioxid és a vízgőz teljesen elnyelik.

A légkör felhőt sem szabad figyelmen kívül hagynunk, ha a napsugár útját minden akadályon át követni akarjuk. A légkörben úszó felhők eredetük, kiterjedésük és szerkezetük szerint nagyon különböznek egymástól. A napsugár sem egyenlőképen tud rajtuk keresztülhatolni. A vastag rétegfelhők



5. ábra.

teljesen eltakarhatják a Napot és csak kevés, átszűrődő fény jut el a Föld felületére. A vakító fehér kumulusz-tornyok ezzel szemben megnövelhetik a sugárzás erősségét. Az egyenlítő táján, gomolyfelhőkben gazdag ég alatt mértek már erősebb sugárzást is, mint amekkora a légkör határára érkezik.

Messze vezetne azoknak a változatos fényjelenségeknek a leírása, amelyek a légkörben lebegő vízcseppeken, jégkristályokon való törés és visszaverődés által jönnek létre. A szivárvány, a színpompás halo-jelenségek nemcsak a természet szépségeit élvező embert gyönyörködtetik, de a kutatónak is felbecsülhetetlen szolgálatot tesznek. A légkör fényjelenségeinek tanulmányozása közelebb visz

bennünket a légkör megismeréséhez s hasznos eszközzé válik a felhők szerkezetének kutatásánál.

POUILLET első mérése óta 100 év telt el s a sugárzáskutatás 100 évéből 70 évet a napállandó kiszámítására fordítottak. Ez alatt a 70 év alatt a légkör másodrendű szerepet töltött be s a számítások célja a légkör hatásának minél tökéletesebb kiküszöbölése volt. Az utolsó 30 év a sugárzáskutatásban új irányt jelent. A vizsgálatok célja a fényt áteresztő közeg: a levegő lett. A napsugár érzékeny műszernek bizonyult ezekben a vizsgálatokban. Nemcsak az alsóbb légrétegeknek, a felhővnek, sőt nemcsak a 10 km körül kezdődő sztratoszférának megismerésében volt segítségünkre, hanem felbecsülhetetlen szolgáltatokat tett azoknak a légköri öveknek kutatásában is, ahová az Ember műszereit felküldeni még nem tudta. Így lett a kezdetben öncélú napsugárzásmérés a légkörtan leg-használhatóbb kutatóeszközévé.

*Béll Béla és Takács Lajos.*

## Ásványgyűjtő úton Felső-Pinzgauban.

A salzburgi tartomány délnyugati része Felső-Pinzgau nyelv módjára ékelődik Tirol és Dél-Tirol közé. E terület a széles Felső-Salzach-völgy, melyet északon lankás dombvidék, a pinzgau „pázsihegyek“, délről a Tauernnek főgerince határol a Reichenspitz-csoporttól a Gross-Glocknerig.

A vidék földtani és kőzettani felépítésével egy alkalommal már foglalkoztam.<sup>1</sup> A Tauernnek ablak módjára helyezkednek el a keletalpesi takaró mészkő keretében. Pinzgau déli határa a főgerincen húzódik. Itt foglalnak helyet a legmagasabb csúcsok: a Dreiherrnspitz, a Venedigerek, a Sonnblick, a Granatspitz stb. A jégkorszakban innen lenyúló gleccserek hatalmas völgyeket vájtak a Salzach-völgy helyét elfoglaló főgleccser felé. E mellékvölgyek, melyekből ma sebesfolyású gleccserpatatok ömlenek a Salzachba, vad szépségükkel nyár idején tömegestül vonzzák a turistákat. Ugyancsak nagy vonzóerőt jelentenek a sziklák közt előforduló érdekes alpesi ásványok.<sup>2</sup> Az ásványgyűjtő turista, a „Steinsucher“ épp oly megszokott alakja e vidéknek, mint a kis vizes hordóját nyakában cipelő Salzach-halász. E völgyeket több ízben is volt alkalmam végigjárni és ásványlelőhelyeiket felkeresni.

A salzburg-innsbruck-i gyorsvonat Brucknál észak felé fordul és berobog Pinzgau főhelyére, Zell am See-be. Az 1928 óta városnak nyilvánított Zell am See a hasonló nevű tó nyugati partján kis földnyelven épült. Az első település kolostor mellett történt, innen kapta nevét. Az egyre fejlődő idegenforgalom és turisztika, különösen a Grossglockner-műút megnyitása óta hatalmasan fellendítették. Fokozza forgalmát a mellette fekvő langyosvizű tó, mely fürdésre is alkalmas (nyáron 20–25 C<sup>0</sup>-ig is felmelegszik). A tó 4 km hosszú, 1.5 km széles, legnagyobb mélysége 70 méter. Valamikor jóval nagyobb volt. A jégkorszak előtt északon Saalfelden vidékéig, délen Bruck környékéig, a Salzach-völgyben nyugat felé a jelenlegi Niedernsill-ig terjedt. Mai medrét a jégkorszak-

<sup>1</sup> Természettudományi Közlöny Pótfüzetek 1940. ápr.—jún.-i szám.

<sup>2</sup> Ez ásványlelőhelyek általános ismertetését lásd u. ott.